

Vertikální a horizontální osvětlenosti ve veřejném osvětlení z hlediska viditelnosti

Vertical and Horizontal Illuminance in Public Lighting in Terms of Visibility

Jan Bašta

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Ostrava, Rok 2021

Abstrakt

Tato bakalářské práce se zabývá horizontální a vertikální osvětleností ve veřejném prostranství. Teoretická část obsahuje definici osvětlenosti a její typy. Dále jsou tu rozebrány normativní požadavky pro veřejné osvětlení, a ty jsou: výběr třídy osvětlení na základě provozu na komunikaci, požadavky na třídy osvětlení, výpočty parametrů osvětlení, metody měření a ukazatelé energetické náročnosti. Součástí je také rozbor optických vlastností materiálů. Podrobněji jsou popsány odrazové vlastnosti materiálů použitých na komunikacích. V praktické části je v programu DIALux 3.14. vymodelována scéna veřejného osvětlení, ve které se porovnávaly dva světelné zdroje. Z tohoto porovnávání byly provedeny jednotlivé rozborů a závěry.

Klíčová slova

Veřejné osvětlení, osvětlenost, horizontální osvětlenost, vertikální osvětlenost, normativní požadavky, odrazové vlastnosti

Abstract

This bachelor thesis deals with horizontal and vertical illuminance in public spaces. The theoretical part contains the definition of illuminance and its types. Furthermore, the normative requirements for public lighting are discussed, and these are: selection of lighting class based on traffic on the road, requirements for lighting classes, calculations of lighting parameters, measurement methods and energy performance indicators. It also includes an analysis of the optical properties of materials. The reflective properties of the materials used on the roads are described in more detail. In the practical part the scene of public lighting is modeled in program DIALux 3.14. in which two light sources were compared. Individual analyzes and conclusions were made from this comparison.

Key words

Public lighting, illuminance, horizontal illuminance, vertical illuminance, normative requirements, reflective properties

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace při tvorbě této bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat své přítelkyni Ing. Tereze Soukupové a bratru Ing. Tomášovi Baštovi za cenné rady při tvorbě této práce a podporu během studia. A také celé rodině, která mě během doby studia podporovala.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek.....	6
Seznam obrázků a grafů	7
Seznam tabulek	8
Úvod	9
1 Osvětlenost a její charakteristiky	10
1.1 Osvětlenost.....	10
1.2 Horizontální a vertikální osvětlenost.....	12
1.3 Charakteristiky prostorových vlastností osvětlení	12
1.3.1 Světelný vektor	12
1.3.2 Střední kulová osvětlenost	13
1.3.3 Střední válcová osvětlenost.....	14
1.3.4 Střední polokulová osvětlenost.....	15
1.3.5 Střední poloválcová osvětlenost	15
2 Normativní požadavky na veřejné osvětlení	17
2.1 ČSN CEN/TR 13201-1 Návod pro výběr tříd osvětlení	17
2.1.1 Třída osvětlení pro motorovou dopravu (M)	17
2.1.2 Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti (C)	19
2.1.3 Třídy osvětlení pro chodce a pomalou dopravu (P)	20
2.2 ČSN EN 13201-2 – Požadavky	22
2.2.1 Požadavky pro motorovou dopravu (M)	22
2.2.2 Požadavky na konfliktní oblast (C).....	23
2.2.3 Požadavky pro chodce a cyklisty (P)	23
2.2.4 Vzhled a enviromentální aspekty	24
2.3 ČSN EN 13201-3 – Výpočet.....	24
2.4 ČSN EN 13201-4 – Metody měření.....	24
2.5 ČSN EN 13201-5 – Ukazatelé energetické náročnosti	24
3 Rozbor odrazných vlastností u materiálů používaných na komunikacích.....	26
4 Modelová realizace veřejného osvětlení.....	30
4.1 Stanovení základních parametrů.....	30
4.2 Rozbor klasické osvětlovací soustavy veřejného osvětlení	32
4.3 Návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení.....	36
4.4 Porovnání osvětlovacích soustav	40

Závěr	42
Seznam použitých zdrojů.....	43
Přílohy.....	44

Seznam použitých symbolů a zkratk

Použité symboly

E	osvětlenost (lx)
\bar{E}	průměrná osvětlenost (lx)
E_N	normálová osvětlenost (lx)
E_h	horizontální osvětlenost (lx)
E_v	vertikální osvětlenost (lx)
E_{min}	minimální osvětlenost (lx)
$E_{4\pi}$	střední kulová osvětlenost (lx)
E_Z	střední válcová osvětlenost (lx)
E_{hs}	střední polokulová osvětlenost (lx)
E_{SZ}	střední poloválcová osvětlenost (lx)
L	jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
\bar{L}	průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
U_O	celková rovnoměrnost
U_I	podélná rovnoměrnost
f_{TI}	prahový přírůstek
R_{EI}	činitel osvětlení okolí
Ω	prostorový úhel (sr)
Φ	světelný tok (lm)
I	svítivost (cd)
M	světlení ($\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$)
ρ	činitel odrazu (-)
τ	činitel prostupu (-)
α	činitel pohlcení (-)
A	plocha (m^2)
d, D	vzdálenost světelného zdroje od plochy (m)
l	vzdálenost svítidel mezi sebou (m)
v	rychlost (km/h)

Použité zkratky

ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
LED	dioda emitující světlo
VO	veřejné osvětlení
M	třída osvětlení pro motorovou dopravu
C	třída osvětlení pro konfliktní oblast
P	třída osvětlení pro chodce a cyklisty

Seznam obrázků a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1- Znázornění osvětlenosti [7]	10
Obrázek 2- Čtvercový zákon [1].....	10
Obrázek 3- Lambertův kosinův zákon [1]	11
Obrázek 4- Definice osvětlenosti bodového zdroje [1]	11
Obrázek 5- Horizontální a vertikální osvětlenost	12
Obrázek 6- Ztvárnění světelného vektoru [1].....	13
Obrázek 7- Ztvárnění střední kulové osvětlenosti [1]	14
Obrázek 8- Ztvárnění střední válcové osvětlenosti [1].....	14
Obrázek 9- Ztvárnění střední polokulové osvětlenosti [1]	15
Obrázek 10- Ztvárnění střední poloválkové osvětlenosti [1].....	16
Obrázek 11- Znázornění zrcadlového odrazu a prostupu [1]	28
Obrázek 12- Rozložení svítivosti rovnoměrně rozptýlně odrážejícího povrchu [1]	28
Obrázek 13- Model prostředí [10].....	30
Obrázek 14- Model prostředí vytvořen v DIALux [10].....	31
Obrázek 15- Umístění výpočtového rastru a svítidel [10]	31
Obrázek 16- SCHREDER MC2 PMMA [8]	32
Obrázek 17- Hodnoty svítivosti MC2 v polárních souřadnicích [8]	32
Obrázek 18- THORN R2L2 S 36L WSC 740 CL1 [9]	36
Obrázek 19- Hodnoty svítivosti R2L2 v polárních souřadnicích [9]	36

Seznam grafů

Graf 1- Průměrná osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W	33
Graf 2- Rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti SHREDER MC2 PMMA SON-T 100W	34
Graf 3- Průměrný jas SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W	35
Graf 4- Průměrná osvětlenost THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1	37
Graf 5- Rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti	38
Graf 6- Průměrný jas THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1	39
Graf 7- Průměrná horizontální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1	40
Graf 8- Průměrná vertikální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1	40
Graf 9- Vertikální minimální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1	41

Seznam tabulek

Tabulka 1- Parametry pro výběr třídy osvětlení M [2]	18
Tabulka 2- Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty Q_0 povrchu vozovky [2]	19
Tabulka 3- Parametry pro výběr třídy osvětlení C [2]	20
Tabulka 4- Parametry pro výběr třídy osvětlení P [2]	21
Tabulka 5-Třídy osvětlení M [3].....	22
Tabulka 6- Třídy osvětlení C založené na osvětlenosti pozemní komunikace [3]	23
Tabulka 7- Třídy osvětlení P [3]	23
Tabulka 8- Třídy osvětlení HS [3]	24
Tabulka 9- Přibližné hodnoty činitelů ρ, τ, α některých materiálů [1]	27
Tabulka 10- Orientační hodnoty činitele odrazu ρ některých látek [1].....	27

Úvod

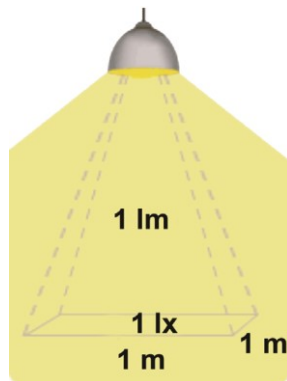
Tato práce se věnuje veřejnému osvětlení, které je v dnešní době nezbytnou součástí veřejné infrastruktury. Veřejné osvětlení je soubor osvětlovacích soustav, které vytváří v prostoru světelné prostředí a hraje v dnešní civilizované a technicky pokročilé době velmi významnou roli. Umožňuje osvětlení komunikací a veřejného prostranství, jako jsou města, obce, silnice, dálnice, přechody pro chodce, městské parky, parkoviště, sportoviště, či významných objektů, jako jsou architektonické památky. Taktéž ovlivňuje každodenní život všech lidí, ať už se to týká řidičů, u kterých zvyšuje bezpečnost silničního provozu, nebo obyvatel, kterým poskytuje světlo, a tím i větší pocit bezpečí a jistoty v době noční tmy.

Na návrh a realizaci veřejného osvětlení je v současnosti kladen velký důraz, neboť musí poskytovat dostatečnou osvětlenost pro dobrou viditelnost. Na druhou stranu musí být navrženo tak, aby zbytečně neoslňovalo řidiče a ostatní účastníky silničního provozu na komunikacích. Tuto problematiku řeší soubor evropských norem, ve kterém se nachází jednotlivé části normy, jako výběr třídy osvětlení komunikace, které se určují na základě váhových hodnot, jako intenzita dopravy, hustota provozu, rychlost uživatelů apod. Dále řeší požadavky na třídu osvětlení, specifikace výpočtů a měření světelně-technických parametrů na komunikacích.

1 Osvětlenost a její charakteristiky

1.1 Osvětlenost

Osvětlenost neboli také intenzita osvětlení je definována jako hodnota světelného toku dopadajícího na jeden metr čtvereční. [1]



Obrázek 1- Znárodnění osvětlenosti [7]

Jednotkou osvětlenosti je lux (lx) a platí:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1)$$

E – osvětlenost (lx),

$d\Phi$ – velikost světelného toku dopadlého na plochu (lm),

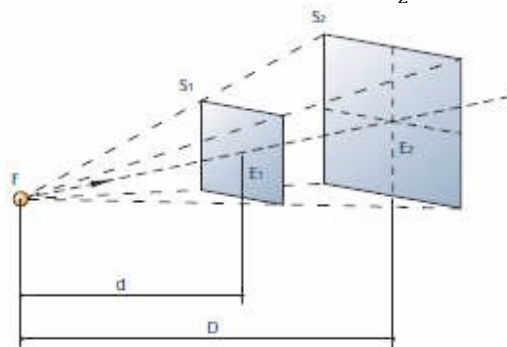
dA – plocha, na niž dopadá světelné záření (m^2).

Osvětlenost bodového zdroje je možné vyjádřit také pomocí svítivosti, a to na bázi zákona čtverce vzdálenosti a Lambertova kosinova zákona. [1]

Čtvercový zákon vychází z následujícího vztahu:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2)$$

$$E_1 \cdot d^2 = E_2 \cdot D^2 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2} \quad (3)$$



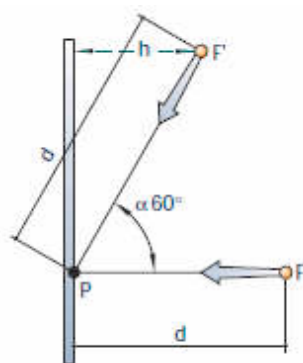
Obrázek 2- Čtvercový zákon [1]

Lambertův kosinův zákon vychází z následujícího vztahu:

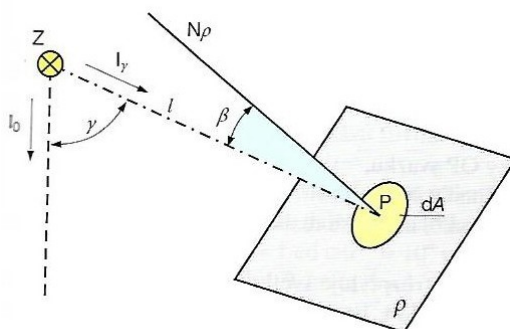
$$E = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos 0^{\circ} = \frac{I}{d^2} \quad (5)$$

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos 60^{\circ} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I}{d^2} \quad (6)$$



Obrázek 3- Lambertův kosinův zákon [1]



Obrázek 4- Definice osvětlenosti bodového zdroje [1]

Z předchozích vztahů lze vyjádřit vztah pro osvětlenost bodového zdroje:

$$E = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (7)$$

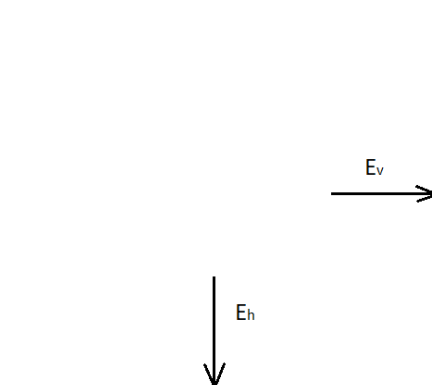
β – úhel, který svírá dopadající paprsek s normálou plochy;

l – vzdálenost světelného zdroje od plochy (m).

Z rovnice vyplývá, že intenzita osvětlení v daném bodě P klesá s rostoucí vzdáleností l světelného zdroje od tohoto bodu. Osvětlenost je současně přímo úměrná hodnotě kosinu úhlu. Svítivost I_{γ} je hodnota, jež je odečtena s úhlem γ ke svítivosti I_0 . Maximální osvětlenosti lze tedy dosáhnout tak, že normála roviny bude s dopadajícím paprskem svírat nulový úhel. Tak bude mít hodnota kosinu maximální hodnotu. V tomto případě je to normálová osvětlenost E_N . [1]

1.2 Horizontální a vertikální osvětlenost

Dopadá-li světelný tok na vodorovný povrch (např. komunikaci), nazýváme osvětlenost tohoto povrchu jako horizontální E_h . V případě, že světelný tok dopadá na svislý povrch (např. zeď), je osvětlenost tohoto povrchu vertikální E_v .



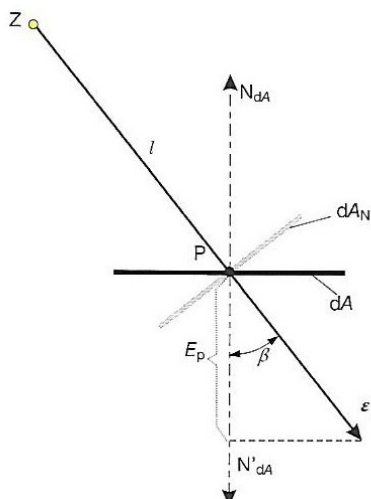
Obrázek 5- Horizontální a vertikální osvětlenost

1.3 Charakteristiky prostorových vlastností osvětlení

K objektivnímu stanovení osvětlení prostoru se používají mimo osvětlenosti vodorovných povrchů i osvětlenosti elementárních ploch s jiným než rovinným tvarem (koule, polokoule, válec, poloválec). Dané povrchy tvoří náhradní přijímače a nahrazují předměty vyskytující se v místě pozorování. Souhrnně se tyto skalární veličiny nazývají integrální charakteristiky světelného pole a přiřazují střední hodnotu osvětlenosti těchto elementárních povrchů. Základními veličinami jsou střední kulová osvětlenost, střední válcová osvětlenost, střední polokulová osvětlenost a střední poloválcová osvětlenost. [1]

1.3.1 Světelný vektor

Velikost energie, která projde kolmo jednotkovou plochou za jednotku času udává světelný vektor. V případě světelné techniky je tento vektor nahrazen hustotou světelného toku. Velikost je dána energií, jež projde kolmo na směr záření jednotkovou plochou za jednotku času. [1]



Obrázek 6- Ztvárnění světelného vektoru [1]

Na obrázku je znázorněn světelný vektor ε_1 v bodě P za přítomnosti jednoho bodového zdroje Z. Jeho velikost se rovná normálové osvětlenosti E_N v témže bodě. Jeho velikost je možné stejně tak vyjádřit plošnou hustotou světelného toku $d\Phi$, dopadajícího kolmo na plochu dA_N , která je kolmá k paprsku světelného záření. [1]

$$|\varepsilon_1| = \varepsilon_1 = E_N = \frac{d\Phi}{dA_N} \quad (8)$$

ε_1 – světelný vektor,

E_N – normálová osvětlenost (lx),

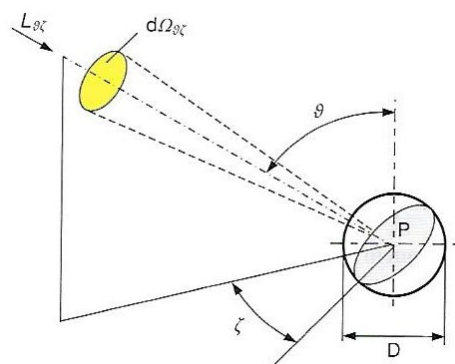
$d\Phi$ – plošná hustota světelného toku dopadající kolmo na plochu dA_N (lm),

dA_N – plocha kolmá k dopadajícímu paprsku (m²).

1.3.2 Střední kulová osvětlenost

Ze skupiny skalárních integrálních charakteristik je nejčastěji používána střední kulová osvětlenost, která je určena střední hodnotou osvětlenosti kulového přijímače. Vzhledem ke vzdálenosti zdroje od bodu P je průměr této koule zanedbatelný. Prostřednictvím střední kulové osvětlenosti se určuje osvětlenost v určitém místě prostoru. Střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ se stanoví na základě vztahu: [1]

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} dE_N = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} L_{\theta\zeta} d\Omega_{\theta\zeta} \quad (9)$$

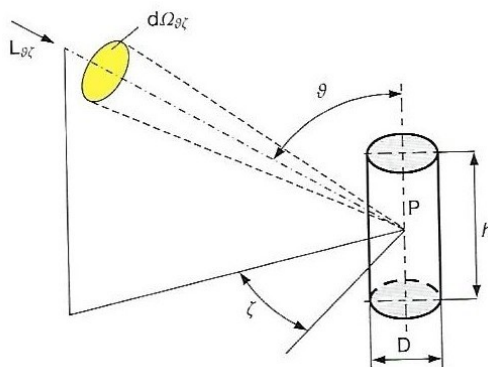


Obrázek 7- Ztvárnění střední kulové osvětlenosti [1]

1.3.3 Střední válcová osvětlenost

Střední válcová osvětlenost se využívá pro hodnocení osvětlenosti umělými zdroji světla na veřejných a společenských prostorech, jelikož je v těchto místech směr pozorování zejména ve vodorovném směru. Pro vyhodnocení je tedy podstatné znát rozložení intenzity jasů či osvětlenosti na svislých plochách. Protože se jedná o válec, tak bude hodnota osvětlenosti rovna střední hodnotě osvětlenosti jeho pláště umístěnému v tomto místě. Rozměry válce se stanovují pomocí průměru neprůsvitné podstavy D a výšky h . Tyto rozměry jsou bezvýznamné v porovnání vzdálenosti zdroje záření a kontrolního bodu P . Střední válcovou osvětleností se hodnotí dostatečné osvětlení v místě, kde se umístí tento elementární válec. Integrální rovnice je následující: [1]

$$E_Z = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin\vartheta L_{\theta\zeta} d\Omega_{\theta\zeta} = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin\vartheta dE_N \quad (10)$$

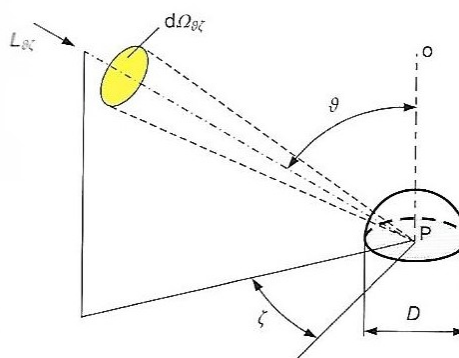


Obrázek 8- Ztvárnění střední válcové osvětlenosti [1]

1.3.4 Střední polokulová osvětlenost

Střední polokulová osvětlenost se používá během hodnocení trojrozměrných předmětů umístěných na velké ploše, kdy není podstatné znát osvětlenost těch částí předmětů, jenž jsou od pozorovatele odvráceny, se využívá integrální charakteristika polokulového náhradního přijímače. Jde o střední hodnotu osvětlenosti povrchu polokoule, jenž je umístěna v kontrolním bodě P a jejíž rozměry jsou zanedbatelné vůči vzdálenosti kontrolního bodu od zdroje světla. Obdobně jako válcová osvětlenost je i tato závislá na směru dopadu paprsků. V případě, že úhel $\vartheta = 0$ je možné pro polokulovou osvětlenost vytvořit vztah: [1]

$$E_{hs} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} (1 + \cos\vartheta) L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta} \quad (11)$$



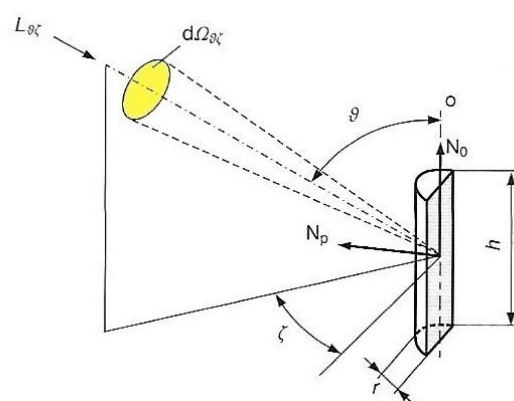
Obrázek 9- Ztvárnění střední polokulové osvětlenosti [1]

1.3.5 Střední poloválcová osvětlenost

Střední poloválcová osvětlenost se používá v místech, ve kterých se musí přesněji vymezit vnímání detailů, a kde se počítá s vlivem svislých ploch. Jde o místa společenská, pracovní a také veřejné pěší zóny. Daná skalární veličina charakterizuje střední hodnotu osvětlenosti povrchu poloválce.

Daný poloválec je orientován pomocí dvou vektorů. První N_0 vede podélnou osou o a druhý N_p tvoří normálu k obdélníkové ploše poloválce. Podélná osa může být umístěna buď vodorovně nebo svisle na základě toho, v jakém případě je použita. V pracovních místech je vedená vodorovně, oproti tomu ve veřejných pěších zónách je orientována svisle. Když vektor N_0 umístíme tak, že úhel $\vartheta = 0$ a vektor N_p pod úhlem $\zeta = 0$, pak lze střední poloválcovou osvětlenost vypočítat podle vztahu: [1]

$$E_{SZ} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \sin\vartheta (1 + \cos\zeta) L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta} \quad (12)$$



Obrázek 10- Ztvárnění střední poloválcové osvětlenosti [1]

2 Normativní požadavky na veřejné osvětlení

Česká technická norma ČSN EN 13201 (Osvětlení pozemních komunikací) se zabývá normativními požadavky na veřejné osvětlení. Obsahuje zjednodušené směrnice pro výběr tříd osvětlení. Jsou zde představeny nejdůležitější parametry pro různorodé světelné situace, mezi něž patří pozemní komunikace pro motorovou dopravu, konfliktní oblasti a pozemní komunikace pro chodce a pomalou dopravu. Těmito parametry jsou navrhovaná rychlost, intenzita dopravy, skladba dopravního proudu, geometrické uspořádání komunikace i vzhled okolního prostředí. Tato norma obsahuje 5 částí. V první části ČSN CEN/TR 13201-1 se nachází návod pro výběr tříd osvětlení a s tím související hlediska. Ve druhé části ČSN EN 13201-2 jsou stanoveny požadavky na veřejné osvětlení. Třetí část ČSN EN 13201-3 zahrnuje výpočty technických a světelných parametrů. Čtvrtá část ČSN EN 13201-4 uvádí metody měření. V páté části ČSN EN 13201-5 lze najít ukazatele energetické náročnosti.

2.1 ČSN CEN/TR 13201-1 Návod pro výběr tříd osvětlenosti

Tato technická zpráva obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení pro různé světelné situace – pozemní komunikace pro motorovou dopravu, konfliktní oblasti a pozemní komunikace pro chodce a pomalou dopravu. Každá třída je charakterizována různými parametry. Jsou to navrhovaná rychlost, intenzita dopravy, skladba dopravního proudu, geometrické uspořádání pozemní komunikace a vzhled okolního prostředí.

Při výběru třídy osvětlení se u některých parametrů používají maximální hodnoty. Pro klasickou motorovou dopravu, konfliktní oblasti a oblasti pro chodce a pomalou dopravu uvedeny jsou dány jenom hlavní parametry. Ty jsou dostatečně obsáhlé a vyhovují tak i požadavkům na národních úrovních.

Výběr normální třídy osvětlení vychází z nejpříznivějších hodnot jednotlivých parametrů. Časové změny daných parametrů dovolují či vyžadují změnu normální hodnoty průměrného jasu nebo osvětlenosti, a to zpravidla jejich snížením. Jako nejdůležitější parametry jsou tak označeny intenzita dopravy, skladba dopravního proudu, aktuální odrazové vlastnosti vozovky, skutečný stav povrchu vozovky a někdy také jasnost okolí. [2]

2.1.1 Třída osvětlení pro motorovou dopravu (M)

Tyto třídy osvětlení M jsou cílené pro řidiče motorových vozidel na dopravních pozemních komunikacích. Uplatnění tříd je závislé na geometrii relevantní oblasti a také na dopravních a aktuálních okolnostech.

Při volbě konkrétní třídy osvětlení se uvažuje dle těchto parametrů: funkce pozemní komunikace, geometrické uspořádání pozemní komunikace, navrhovaná rychlost, skladba dopravního proudu, intenzita dopravy a vzhled okolního prostředí.

Při určování třídy osvětlení M pro konkrétní situaci se nejdříve určí součet váhových hodnot (V_{WS}) jednotlivých parametrů (V_W). Číslo třídy osvětlení M je stanoveno vztahem: [2]

$$M = 6 - V_{WS} \quad (13)$$

Na bázi výběru odpovídajících váhových hodnot uvedených v tabulce 1 se stanoví třídy osvětlení v intervalu hodnot od 1 do 6. Jestliže je součet váhových hodnot $V_{WS} < 0$, použije se hodnota $V_{WS} = 0$. Zda-li je konečné číslo třídy osvětlení $M \leq 0$, stanoví se třída osvětlení M1. [2]

Tabulka 1- Parametry pro výběr třídy osvětlení M [2]

Parametr	Možnosti	Popis		Váhová hodnota V_w
Navrhovaná rychlost nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Nízká	$v < 40$ km/h		-2
Intenzita dopravy		Dálnice, vícepruhové pozemní komunikace	Dvoupruhové pozemní komunikace	
	Vysoká	> 65 % maximální kapacity	> 45 % maximální kapacity	1
	Střední	35 % -65 % maximální kapacity	15 % -45 % maximální kapacity	0
	Nízká	< 35 % maximální kapacity	< 15 % maximální kapacity	-1
Skladba dopravního proudu	Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy			2
	Smíšená			1
	Pouze motorová			0
Směrově rozdělená komunikace	Ne			1
	Ano			0
Hustota křižovatek		Úrovňové křižovatky (počet/km)	Mimoúrovňové křižovatky, vzdálenost mezi mosty (km)	
	Vysoká	> 3	< 3	1
	Střední	≤ 3	≥ 3	0
Parkující vozidla	Vyskytující se			1
	Nevyskytující se			0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádraží a skladové areály		1
	Střední	Běžná situace		0
	Nízká			-1
Náročnost navigace	Vysoká			2
	Střední			1
	Nízká			0

2.1.2 Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti (C)

Třídy osvětlení C jsou vymezeny pro konfliktní oblasti na pozemních komunikacích, na kterých je zejména motorová skladba provozu. Místa, ve kterých se vzájemně kříží proudy vozidel ústí do oblastí s vysokou přítomností cyklistů, chodců či ostatních uživatelů komunikací, jsou konfliktní oblasti. Těmi jsou také místa, ve kterých se mění geometrie pozemní komunikace – snížený počet nebo zúžení jízdních pruhů. V těchto místech se zvyšuje riziko srážek vozidel, konfrontace vozidel s cyklisty, chodci a ostatními účastníky či například nárazu vozidla do pevného objektu.

Při navrhování osvětlení konfliktních oblastí je důležitým a doporučeným hodnotícím kritériem jas. V situacích jako je krátká pozorovací vzdálenost a jiné faktory není možné brát jas jako hodnotící kritérium. Při krátkých pozorovacích vzdálenostech nebo dalších faktorech, kdy nelze jako hodnotící kritérium použít jas, je možné pro část nebo celou konfliktní oblast považovat za hodnotící kritérium osvětlenost. Vztah jasu a průměrné horizontální osvětlenosti je závislý na světlosti povrchu vozovky, která je vyjádřena hodnotou Q_0 povrchu vozovky. [2]

Tabulka 2- Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty Q_0 povrchu vozovky [2]

Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Třída osvětlení C pro $Q_0 < 0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Třída osvětlení C pro $0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1} < Q_0 < 0,08 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Třída osvětlení C pro $Q_0 > 0,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Na základě prvního řádku tabulky 2 se stanoví nejvyšší třída osvětlení M z pozemních komunikací na zájmovou oblast. Pro zvolenou třídu a hodnotu Q_0 povrchu komunikace se z tabulky zvolí ekvivalentní třída osvětlení. Pro návrh osvětlení konfliktní oblasti se doporučuje uplatnit třídu osvětlení C. Ta je o stupeň vyšší než je ekvivalentní třída osvětlení určená zmíněným postupem.

V konfliktních oblastech, jako jsou centra měst a obcí, je možné pro stanovení třídy osvětlení C použít tabulku 3. Tu lze využít i v situaci, kdy nejsou osvětleny komunikace, které navazují na konfliktní oblast.

Jestliže se použije pro výběr třídy osvětlení C v konfliktní oblasti zmíněná tabulka 3, tak se musí nejprve stanovit součet váhových hodnot (V_{WS}) jednotlivých parametrů (V_W). Číslo třídy osvětlení C je dáno vztahem: [2]

$$C = 6 - V_{WS} \quad (14)$$

Na bázi volby odpovídajících váhových hodnot v tabulce 3 bude stanoveno číslo třídy osvětlení v intervalu hodnot od 0 do 5. Jestliže je součet váhových hodnot roven $V_{WS} \leq 0$, pak se využije hodnota $V_{WS} = 1$. Zda-li je výsledné číslo třídy osvětlení rovno $C < 0$, určí se třída osvětlení C0. [2]

Tabulka 3- Parametry pro výběr třídy osvětlení C [2]

Parametr	Možnosti	Popis	Váhová hodnota V_w
Navrhovaná rychlost nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h	3
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h	2
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Nízká	$v < 40$ km/h	-1
Intenzita dopravy	Vysoká		1
	Střední		0
	Nízká		-1
Skladba dopravního proudu	Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy		2
	Smíšená		1
	Pouze motorová		0
Směrově rozdělená komunikace	Ne		1
	Ano		0
Parkující vozidla	Vyskytující se		1
	Nevyskytující se		0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádraží a skladové areály	1
	Střední	Běžná situace	0
	Nízká		-1
Náročnost navigace	Vysoká		2
	Střední		1
	Nízká		0

2.1.3 Třídy osvětlení pro chodce a pomalou dopravu (P)

Zejména pro chodce a cyklisty pohybující se po chodnících a cyklostezkách, pro řidiče motorových vozidel jedoucích nízkou rychlostí po komunikacích v obytných oblastech, pro osvětlení krajnic, parkovacích pruhů a jiných dopravních prostorů ležících odděleně nebo podél komunikace v obytné oblasti jsou stanoveny třídy osvětlení P.

Zrakové úkoly a požadavky chodců a řidičů jsou v mnoha ohledech odlišné. To je zohledněno použitými parametry pro výběr tříd osvětlení P pro chodce a pomalou dopravu, což je viditelné v tabulce 4. [2]

Pro stanovení třídy osvětlení P, která se uplatní na konkrétní situaci, se nejdříve určí součet váhových hodnot (V_{ws}) jednotlivých parametrů (V_w). Číslo třídy osvětlení P je dáno vztahem: [2]

$$P = 6 - V_{ws} \quad (15)$$

Na bázi stanovení odpovídajících váhových hodnot v tabulce 4 se určí číslo třídy osvětlení v intervalu hodnot od 0 do 6. Jestliže je součet váhových hodnot roven $V_{ws} < 0$, platí hodnota $V_{ws} = 0$. Jestliže je výsledné číslo třídy osvětlení rovno nule, určí se třída osvětlení P1. [2]

Tabulka 4- Parametry pro výběr třídy osvětlení P [2]

Parametr	Možnosti	Popis	Váhová hodnota V_w
Rychlost pohybu	Nízká	$v \leq 40$ km/h	1
	Velmi nízká	Velmi nízká, rychlost chůze	0
Intenzita provozu	Vysoká		1
	Střední		0
	Nízká		-1
Skladba dopravního proudu	Chodci, cyklisté a motorová doprava		2
	Chodci a motorová doprava		1
	Pouze chodci a cyklisté		1
	Pouze chodci		0
	Pouze cyklisté		0
Parkující vozidla	Vyskytují se		1
	Nevyskytují se		0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádraží a skladové areály	1
	Střední		0
	Nízká		-1
Rozpoznání obličeje	Nutné		Dodatečné požadavky
	Není nutné		Žádné dodatečné požadavky

2.2 ČSN EN 13201-2 – Požadavky

Tato část evropské normy stanovuje požadavky určené prostřednictvím tříd osvětlení pozemních komunikací se zřetelem na zrakové potřeby uživatelů pozemních komunikací a zohledňuje také enviromentální aspekty osvětlení pozemních komunikací. [3]

2.2.1 Požadavky pro motorovou dopravu (M)

Třídy osvětlení M jsou vymezeny pro řidiče motorových vozidel na dopravních trasách se střední až vysokou rychlostí jízdy. Stěžejní kritéria pro hodnocení daných tříd osvětlení jsou založena na jasu povrchu jízdního pásu pozemní komunikace a pojímají hodnoty průměrného jasu, celkové rovnoměrnosti a podélné rovnoměrnosti pro suchý povrch pozemní komunikace. Ostatní kritéria se vztahují k omezujícímu oslnění zformulovanému hodnotou prahového přírůstku (f_{TI}) a k osvětlení okolí vyjádřenému činitelem osvětlení okolí (R_{EI}). [3]

\bar{L} – průměrný jas povrchu komunikace

U_O – celková rovnoměrnost jasu

U_I – podélná rovnoměrnost jasu

f_{TI} – prahový přírůstek

R_{EI} – činitel osvětlení okolí

Tabulka 5-Třídy osvětlení M [3]

Třída	Jas suchého a mokrého povrchu jízdního pásu pozemní komunikace				Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	Suchý povrch			Mokřý povrch	Suchý povrch	Suchý povrch
	\bar{L} (cd·m ⁻²) (minimální udržovaná hodnota)	U_O (-) (minimální hodnota)	U_I (-) (minimální hodnota)	U_{OW} (-) (minimální hodnota)	f_{TI} (%) (maximální hodnota)	R_{EI} (-) (minimální hodnota)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

2.2.2 Požadavky na konfliktní oblast (C)

Třídy osvětlení C jsou též stanoveny pro řidiče motorových vozidel, avšak pro konfliktní oblasti, kterými jsou obchodní třídy, komplikované křižovatky, okružní křižovatky i oblasti s dopravními kolonami, ve kterých předpoklady pro výpočty jasů povrchu pozemní komunikace neplatí či je není možné použít. Měřítko k hodnocení osvětlení jsou založena na vodorovné osvětlenosti a jsou vyčíslena průměrnou osvětleností a celkovou rovnoměrností. Dané třídy osvětlení je možné použít pro chodce i cyklisty. [3]

Tabulka 6- Třídy osvětlení C založené na osvětlenosti pozemní komunikace [3]

Třídy	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	U_o (-) (minimální hodnota)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

2.2.3 Požadavky pro chodce a cyklisty (P)

Třídy osvětlení P a HS jsou stanoveny pro chodce a cyklisty, kteří se pohybují po chodnících, cyklistických stezkách, zpevněných krajnicích a jiných oblastech pozemních komunikací, jež leží odděleně či podél jízdního pásu dopravní trasy, pro pozemní komunikace v obytných oblastech, pěší zóny, parkovací plochy, školní dvory apod... [3]

Tabulka 7- Třídy osvětlení P [3]

Třída	Vodorovná osvětlenost		Doplňující parametry při požadavku na rozpoznání obličeje	
	\bar{E} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	E_{min} (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{v,min}$ (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{sc,min}$ (lx) (udržovaná hodnota)
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2
P7	neurčeno	neurčeno		

Tabulka 8- Třídy osvětlení HS [3]

Třída	Polokulová osvětlenost	
	\bar{E}_{hs} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	U_o (-) (minimální hodnota)
HS1	5,00	0,15
HS2	2,50	0,15
HS3	1,00	0,15
HS4	neurčeno	neučeno

2.2.4 Vzhled a enviromentální aspekty

Řešená norma obsahuje také část, která se zabývá budoucím vzhledem navrhovaných osvětlovacích soustav a zároveň zohledňuje i environmentální aspekty. [3]

2.3 ČSN EN 13201-3 – Výpočet

V třetí části norma obsahuje celkový přehled výpočtů světelně technických parametrů, prostřednictvím nichž jsou definovány jednotlivé třídy osvětlení uvedené v normě ČSN EN 13201-2. Podle návodu, který je uvedený v této normě, je možné stanovit průměrný jas, horizontální, polokulovou, poloválcovou a vertikální osvětlenost. [4]

2.4 ČSN EN 13201-4 – Metody měření

V normě jsou představeny metody měření osvětlenosti nebo jasu na pozemních komunikacích. Dále zde je uveden komplexní návod pro měření fotometrických parametrů. Norma dále uvádí jednotlivá doporučení pro dodržení optimálních podmínek při měření, například: klimatické podmínky (teplota, vlhkost pozemní komunikace), ustálení světelného toku po rozsvícení světelného zdroje, vliv stínění a dopadajícího rušivého světla. Pro jednotlivá měření jsou uvedena doporučení rozmístění měřících bodů a postavení pozorovatele. V příloze normy je vzorový formulář o měření. [5]

2.5 ČSN EN 13201-5 – Ukazatelé energetické náročnosti

Tato evropská norma slouží jako podklad pro definice ukazatelů energetické náročnosti zařízení pro osvětlení pozemních komunikací. K posouzení energetické náročnosti se používá hodnocení dle měrného příkonu a dle roční spotřeby energie. Tyto dvě metody by se měly vždy používat společně. Pro kvantifikaci možných úspor dosažitelných snížením energetické náročnosti a redukováním

dopadem na životní prostředí je nutné stanovit indikátor hustoty výkonu i ukazatel roční spotřeby energie. Mimo to je možné světelnou účinnost instalace využít také k porovnání energetické náročnosti alternativních instalací osvětlení pozemních komunikací. Důsledný výběr třídy nebo tříd osvětlení během návrhu a specifikace přispěje k maximalizaci úspor energie zajištěním jenom nutné úrovně osvětlení poskytované ve správných časech a po nezbytnou minimální dobu. [6]

3 Rozbor odrazných vlastností u materiálů používaných na komunikacích

Optické vlastnosti materiálu jsou podstatné pro navržení a konstruování světelně činných částí různých zařízení se zřetelem na možnosti usměrnění světelného toku, jeho rozptylu a eventuálně omezení jasů v určitých směrech, a to při udržení co nejvyšší účinnosti.

Kvalitativní i kvantitativní ukazatele vnitřního osvětlení, a také úspornost osvětlovacích zařízení jsou významně ovlivňovány odrazností stěn a stropu.

Světelný tok Φ dopadající na zamýšlený materiál se v univerzálním příkladě dělí na tři části. Jsou to:

[1]

- část Φ_ρ , jenž se odrazí
- část Φ_τ , jenž projde látkou
- část Φ_α , jenž látka pohltí

Zde tedy platí:

$$\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha \quad (\text{lm; lm, lm, lm}) \quad (16)$$

Světelně-technické vlastnosti látek popisují tři integrální činitele odpovídající uvedenému rozdělení světelného toku. Jsou to:

- Integrál činitele odrazu $\rho = \Phi_\rho / \Phi$
- Integrál činitele prostupu $\tau = \Phi_\tau / \Phi$
- Integrál činitele pohlcení $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi$

Uvedené veličiny popisují vlastnosti dané látky z pohledu záření různých vlnových délek souhrnně neboli integrálně.

Pro tyto činitele ρ, τ, α plyne z rovnice

$$M = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm, m}^2) \quad (17)$$

známá souvislost

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (18)$$

U materiálů pohlcujících veškeré záření na dopadené (černé) těleso potom platí $\alpha = 1$, a u materiálů neprůsvitných pak

$$\rho + \alpha = 1 \quad (19)$$

V praxi se většinou při výpočtech uvažuje o prostředí, nímž se světelné paprsky šíří od svítidel na osvětlované plochy tak, že je nerozptylující a nepohlcující $\tau = 1$ a $\alpha = 0$. Zmíněný předpoklad je obvykle splněn ve vnitřních i ve venkovních prostorách. Činitelé odrazu, prostupu a pohlcení nejsou závislé jenom na vlastnostech samotné látky, ale také na vlnové délce záření dopadajícího. Z tohoto důvodu se tak mimo integrálních hodnot uvedených činitelů definují také jejich spektrální hodnoty $\rho(\lambda), \tau(\lambda), \alpha(\lambda)$.

Přehledové hodnoty integračních činitelů ρ, τ, α určitých látek najdeme v následující tabulce. V tabulce 10 jsou pak pro informaci obsaženy přibližné hodnoty činitelů odrazu vybraných povrchů a materiálů. [1]

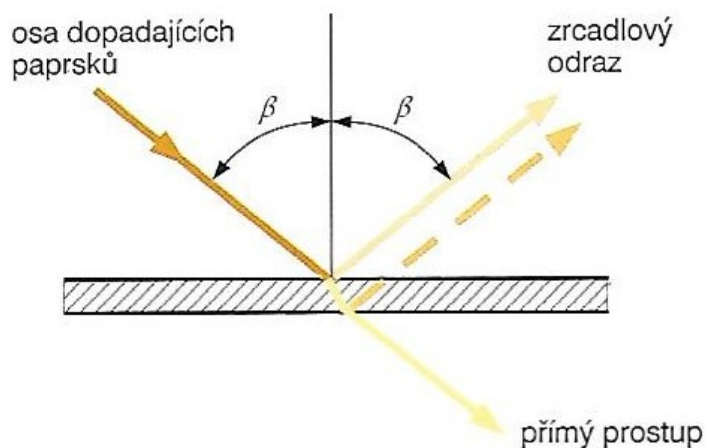
Tabulka 9- Přibližné hodnoty činitelů ρ, τ, α některých materiálů [1]

materiál	činitel (%)		
	odrazu ρ	prostupu τ	pohlcení α
sklo čiré (tloušťka 2 až 4 mm)	6 – 8	90 – 92	2 - 4
sklo matované leptané (tl. 2 až 3 mm)	6 – 11	75 – 91	3 – 19
sklo opálové bílé (tl. 2 až 3 mm)	29 – 52	36 – 66	3 – 10
sklo opalizované (tl. 2 až 3 mm)	13 – 28	59 – 84	3 -13
mramor bílý lesklý (tl. 7,3 až 10 mm)	30 – 71	3 – 8	24 – 65
hedvábí bílé	28 – 38	61 - 71	asi 1

Tabulka 10- Orientační hodnoty činitele odrazu ρ některých látek [1]

povrch		ρ (%)
zeleň		5 – 10
asfalt		10
betonová dlažba		30
zemina		8 – 20
písek světlý		50
ocel		28
hliník		75 – 85
sníh		75 – 80
povrch konstrukce	bílý	75 – 80
	světle žlutý	60 – 70
	tmavě žlutý	50 – 60
	světle červený	40 – 50
	tmavě červený	15 – 30
	světle zelený	45 – 65
	tmavě zelený	5 – 20
	světle modrý	40 – 60
	tmavě modrý	5 – 20
	hnědý	12 – 25
	světle šedý	40 – 60
	tmavě šedý	15 – 20
	černý	1 - 3

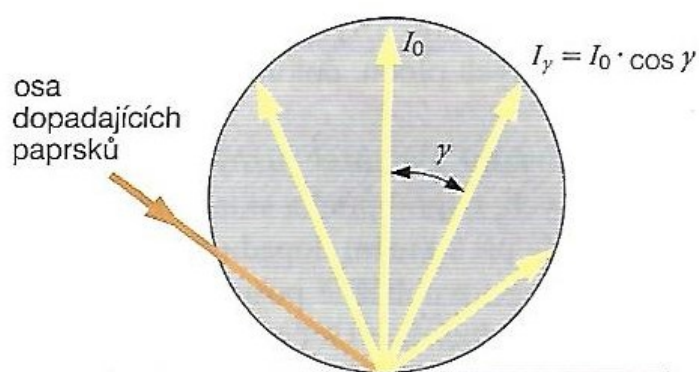
Podle rozložení odraženého světelného toku do různých směrů v prostoru se pak dále rozdělují povrchy dalších látek. Zrcadlový odraz, který je nejjednodušším případem odrazu nastane, jestliže se světelný paprsek odrazí od povrchu pod stejným úhlem, pod nímž na uvažovaný povrch dopadl. [1]



Obrázek 11- Znázornění zrcadlového odrazu a prostupu [1]

Jas pouze ve směru odraženého světelného paprsku vykazuje ideální zrcadlový efekt. Téměř dokonalého zrcadlového odrazu je možné v praxi dosáhnout pouze na kovových plochách, které musí být dokonale a přesně vyleštěné. Produkce těchto zrcadel či reflektorů je velmi drahá i náročná.

K rovnoměrně rozptýlnému neboli difúznímu odrazu dojde v tom případě, kdy se paprsek světla dopadený na element povrchu po odrazu rozdělí do celého poloprostoru tím způsobem, že je jas elementu dané plochy ve všech směrech stejný. [1]



Obrázek 12- Rozložení svítivosti rovnoměrně rozptýlně odrážejícího povrchu [1]

Z následující rovnice

$$L_{\gamma} = \frac{dI_{\gamma}}{dA_1 \cos \gamma} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (20)$$

pro jas svítící plošky plyne, že svítivost elementu ideálního rozptylovače je maximální v kolmém směru, a že svítivost tohoto elementu v každém dalším směru se určí z Lambertova kosinusového zákona. Fotometrická plocha svítivosti elementu rovnoměrně rozptýlené plochy je plocha kulová a indikatrix svítivosti je $f_I(\gamma) = \cos \gamma$.

Jas dokonale rozptylně odrážející plochy není závislý na úhlu dopadu světelných paprsků. Jako Lambertovy zářiče jsou často označovány dokonale rozptylně svítící plochy se zřetelem na zmíněné vlastnosti. Ekvivalentní prostorový úhel ideálního rozptylovače je $\Omega_e = \pi$, což vyplývá z rovnice $\Omega_e = 2\pi \frac{1}{m+1}$. Na základě rovnice $M = L_0 \Omega_e$ je potom souvislost mezi světelným (M) a konstantním jasnem (L) ideálně rozptylně vyzařující plošky stanovena vztahem [1]

$$M = \pi \cdot L \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (21)$$

Jelikož mezi osvětlením E a světlením M dané odrážející plochy, popsané činitelem odrazu ρ , platí podobný vztah, jako mezi dopadlým a odraženým světelným tokem, tj. $M = \rho E$, potom z rovnice $M = \pi \cdot L$ vyplývá pro difuzně odrážející povrch podstatná souvislost mezi osvětleností E a jasnem L tohoto povrchu

$$M = \rho \cdot E = \pi \cdot L \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{lx}, -, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (22)$$

Tento vztah umožňuje kupříkladu při dané osvětlenosti a činiteli odrazu určit jas difuzně odrážejícího povrchu či naopak stanovit z předem zjištěných hodnot E a L činitele odrazu ρ . [1]

4 Modelová realizace veřejného osvětlení

4.1 Stanovení základních parametrů

Aby porovnávání bylo co nejrealističtější, byla stanovena třída komunikace M4. Komunikace M4 dle normy ČSN EN 13201-2 má tyto následující požadavky:

- průměrný jas povrchu nesmí klesnout pod hodnotu $0,75 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
- celková rovnoměrnost musí dosáhnout nejméně 40 %
- podélná rovnoměrnost musí mít hodnotu minimálně 60 %.

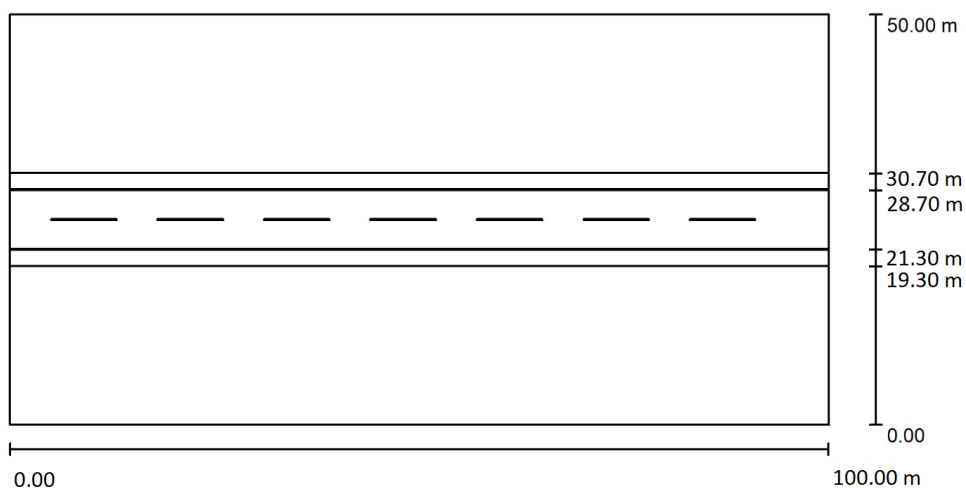
Pro tento model byly zvoleny tyto rozměry:

- šířka jízdního pruhu 3,7 m
- šířka chodníku 2 m
- šířka zeleně 19,3 m

Délka těchto použitých prvků je vždy 100 m. Chodník a zeleň jsou o 0,1 m výše než jízdní pruhy.

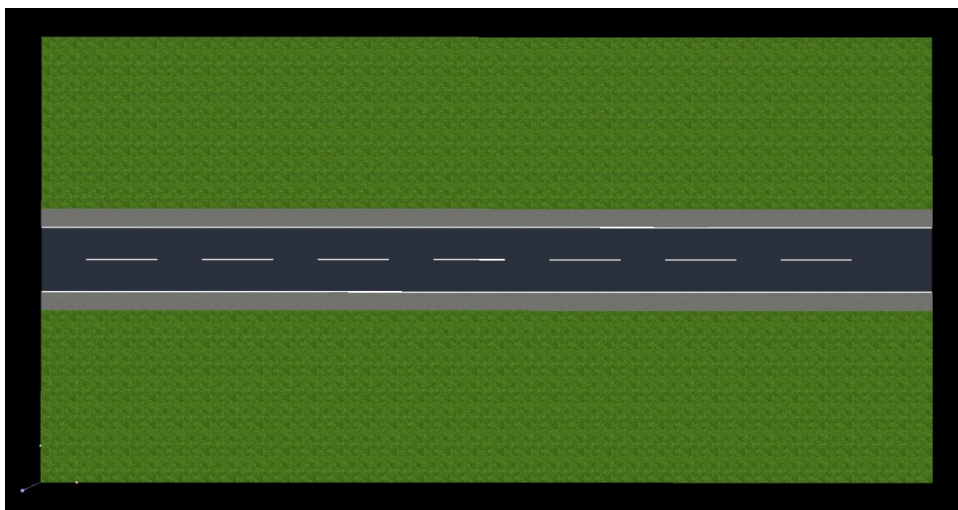
Odrážnost použitých materiálů pro daný model je:

- jízdní pruh (asfalt) 7 %
- vodorovné značení na komunikaci (bílá barva) 70 %
- chodník (beton) 35 %
- zeleň (tráva) 29 %



Obrázek 13- Model prostředí [10]

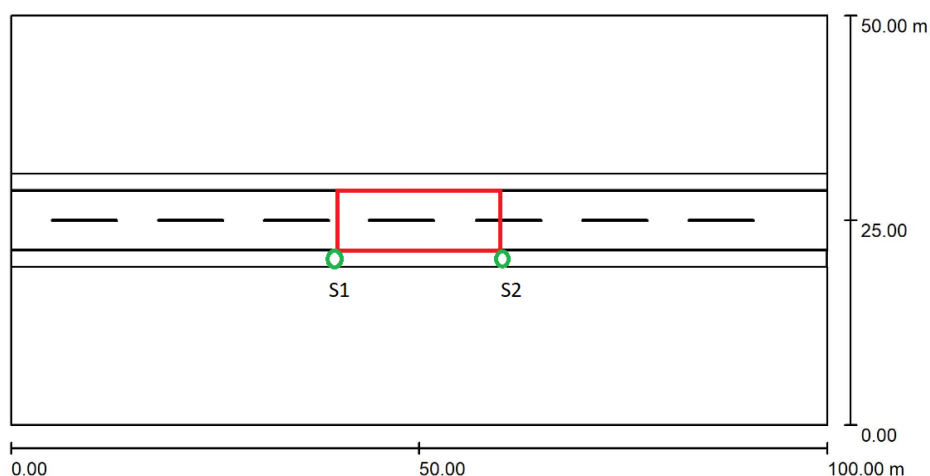
Pro porovnání byl použit výpočetní program DIALux 4.13. V programu byl vytvořen model dle zadaných parametrů. Tento model byl použit, jak pro rozbor klasické osvětlovací soustavy veřejného osvětlení, tak i pro návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení.



Obrázek 14- Model prostředí vytvořen v DIALux [10]

Dále byla do modelu vložena svítidla. Tato svítidla byla umístěna tak, aby jejich maximální světelný výkon směřoval na komunikaci. Vzdálenost mezi svítidly začínala na 20 m a postupně se zvětšovala po 1 m až do maximální vzdálenosti, dokud bylo možné udržet normativní požadavky, které jsou uvedené v ČSN EN 13201-2. Výška umístění svítidel začínala na 6 m a po dosažení krajních parametrů byla zvětšena o 2 m až do výšky 10 m. Se zvětšující se vzdáleností mezi svítidly se současně zvyšovala i výška umístění svítidel. Umístění svítidel vzhledem ke vzdálenosti od kraje vozovky bylo stanoveno tak, aby maximální světelný výkon svítidla dopadal na komunikaci.

Jako poslední byl do modelu vložen výpočtový rastr, který byl umístěn na střed modelu. Jeho rozměry byly takové, že šířka byla 7,4 m a délka se odvíjela od vzdálenosti svítidel od sebe. Výpočtový rastr do 30 m obsahoval síť bodů 10 x 6. Od vzdálenosti 31 m body přibývaly dle pokynů, jež jsou uvedeny v normě ČSN EN 13201-3. Z daného rastru byla získána data o jasu, horizontální a vertikální osvětlenosti. Horizontální osvětlenost byla měřena na vozovce a vertikální osvětlenost ve výšce 1 m nad komunikací.



Obrázek 15- Umístění výpočtového rastru a svítidel [10]

4.2 Rozbor klasické osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

Pro klasickou osvětlovací soustavu byla jako zdroj osvětlení zvolena vysokotlaká sodíková výbojka. Svítidlo, které bylo použito při modelování má název MC2 a je od výrobce Schréder.

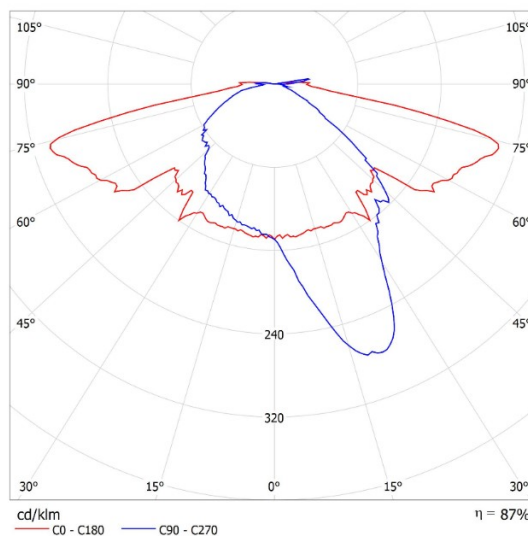
MC2 je všestranné svítidlo, které se dá použít pro veřejné osvětlení ve městech, obcích a pro osvětlení komunikací všech tříd. Svítidlo má velmi kvalitní světelně-technické parametry, jež umožňuje použít výbojky od 50 W až do 250 W.

Parametry svítidla:

Typ:	SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W Medium 892805
Světelný zdroj:	vysokotlaká výbojka
Napájecí napětí:	230 V – 50 Hz
Kryt optické části:	vypouklé
El. třída izolace:	I
Krytí optické části:	IP 66
Krytí elektrické části:	IP44
Světelný výkon svítidla:	107 lm/W
Výkon:	100 W
Světelný tok:	10700 lm



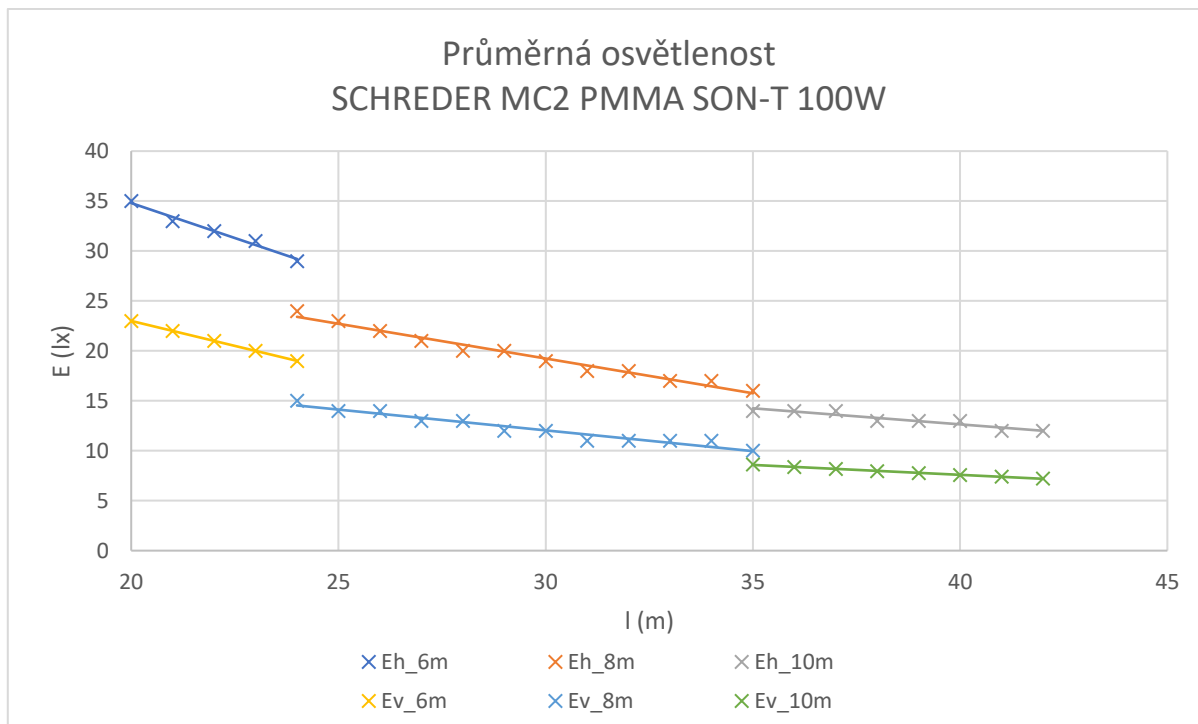
Obrázek 16- SCHREDER MC2 PMMA [8]



Obrázek 17- Hodnoty svítivosti MC2 v polárních souřadnicích [8]

Při modelování osvětleností byla nejprve použita vzdálenost svítidel 20 m od sebe a výška umístění 6 m. Tato výška byla použita do vzdálenosti 24 m, protože podélná rovnoměrnost dosáhla hraniční hodnoty 0,64. Od vzdálenosti 25 m byla výška umístění svítidel 8 m. Danou výšku umístění svítidel bylo možno použít do vzdálenosti 35 m, jelikož podélná rovnoměrnost měla hraniční hodnotu 0,60. Od vzdálenosti 35 m až do maximální vzdálenosti 42 m byla vždy výška umístění svítidel 10 m.

Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy pro průměrnou horizontální a vertikální osvětlenost, rovnoměrnost horizontálního a vertikálního osvětlení a průměrný jas.

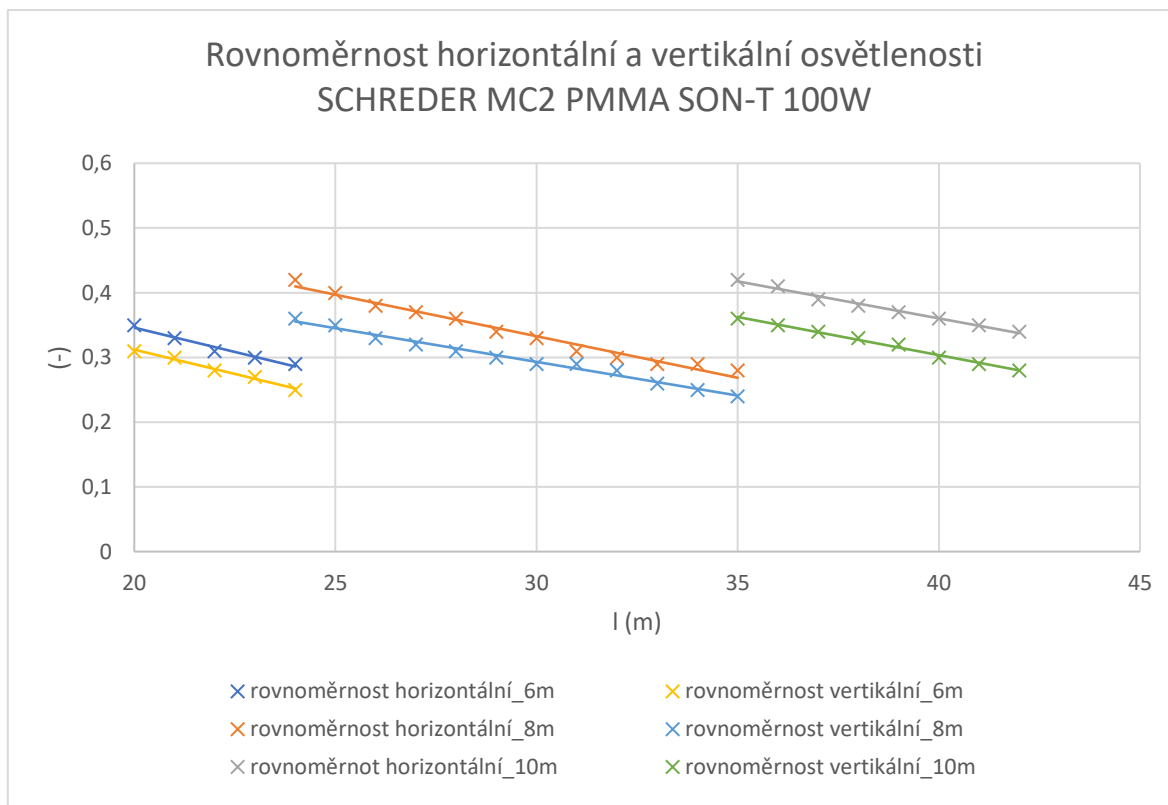


Graf 1- Průměrná osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W

Z grafu vyplývá, že maximální horizontální osvětlenosti je dosažena ve 20 m a má hodnotu 35 lx. Minimální osvětlenost je při 42 m, kde dosahuje hodnoty 12 lx.

V grafu lze dále vidět, že maximální vertikální osvětlenost je při 20 m, kde dosahuje 23 lx a minimum je při 42 m 7,22 lx.

Skoky osvětlenosti v grafu na 24 m a 35 m jsou způsobeny změnou výšky umístění svítidel.

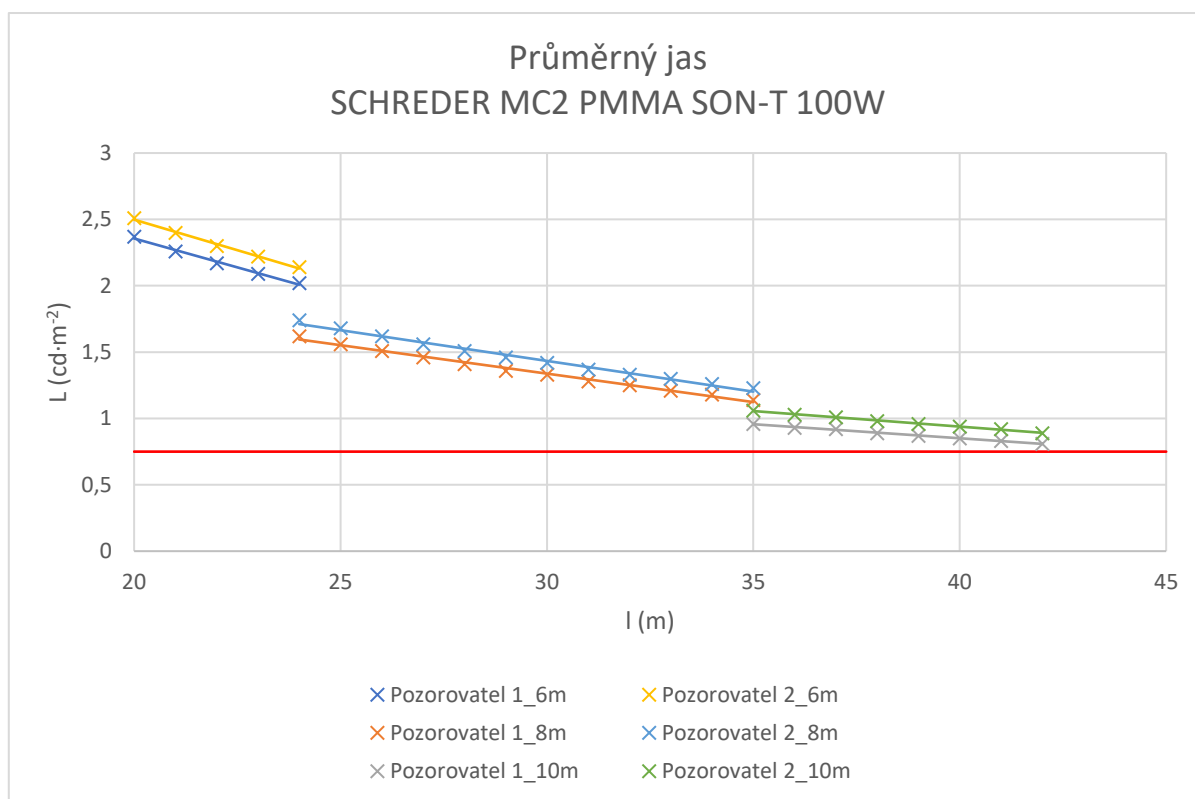


Graf 2- Rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti SHREDER MC2 PMMA SON-T 100W

Rovnoměrnost horizontální osvětlenosti je největší při umístění svítidla ve výšce 8 m a vzdálenosti svítidel mezi sebou 24 m, a taktéž při výšce umístění svítidla 10 m a vzdálenosti svítidel od sebe 35 m, kde shodně dosahuje 42 %. Nejnížší horizontální osvětlenost, a to 28 %, je při umístění svítidla ve výšce 8 m a vzdálenosti 35 m od jiného svítidla.

Nejvyšší rovnoměrnost vertikální osvětlenosti je viditelná ve dvou případech, ve kterých shodně dosahuje hodnoty 36 %. A to při umístění svítidel ve výšce 8 m a vzdálenosti svítidel od sebe 24 m, a také při výšce umístění svítidel 10 m a při vzdálenosti od sebe 35 m. Nejnížší vertikální rovnoměrnost osvětlenosti má hodnotu 24 %, a je zjištěna při výšce umístění svítidla 8 m a vzdálenosti 35 m od vedlejšího světelného zdroje.

Skoky rovnoměrnosti v grafu na 24 m a 35 m jsou způsobeny změnou výškou umístění světelných zdrojů.



Graf 3- Průměrný jas SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W

Z daného grafického znázornění lze vyčíst, že jas dosahuje svého maxima na 20 m, a to u pozorovatele 2. Zde má hodnotu $2,51 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a tato hodnota je o 235 % větší než je požadovaná. Minimum jasu je na 42 m, a to u pozorovatel 1. Jeho hodnota je $0,81 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a tato hodnota se nejvíce blíží normou dané minimální hodnotě jasu pro třídu komunikace M4, kde je jen větší o 8 %.

Skoky jasu v grafu jsou patrné na 24 m a 35 m, a jsou způsobeny opět změnou výšky umístění svítidel.

4.3 Návrh optimální osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

Pro návrh optimální osvětlovací soustavy pro daný model bylo vybráno svítidlo, které se řadí mezi nejlepší ve své kategorii. Jedná se o svítidlo od firmy THORN model R2L2 S 36L50 NR 740 CL1.

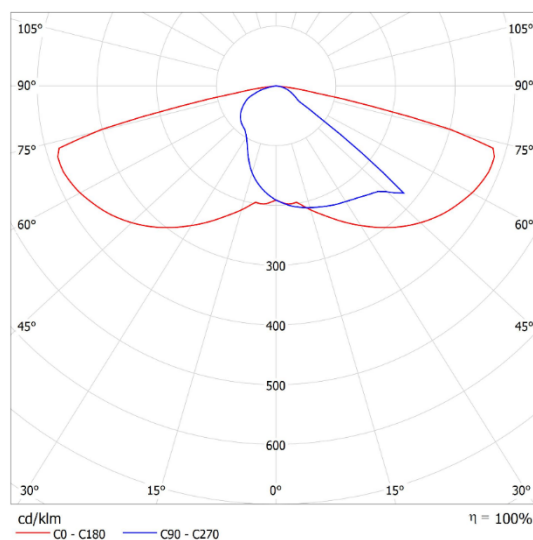
R2L2 je uliční svítidlo o malé velikosti. Světelný zdroj se skládá z 36 LED napájené 500 mA a optikou, která je určena pro úzké vozovky.

Parametry svítidla:

Typ:	THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1
Světelný zdroj:	LED
Napájecí napětí:	230 V – 50 Hz
Kryt optické části:	ploché
El. třída izolace:	I
Krytí:	IP 66
Světelný výkon svítidla:	153 lm/W
Výkon:	55 W
Světelný tok:	8413 lm



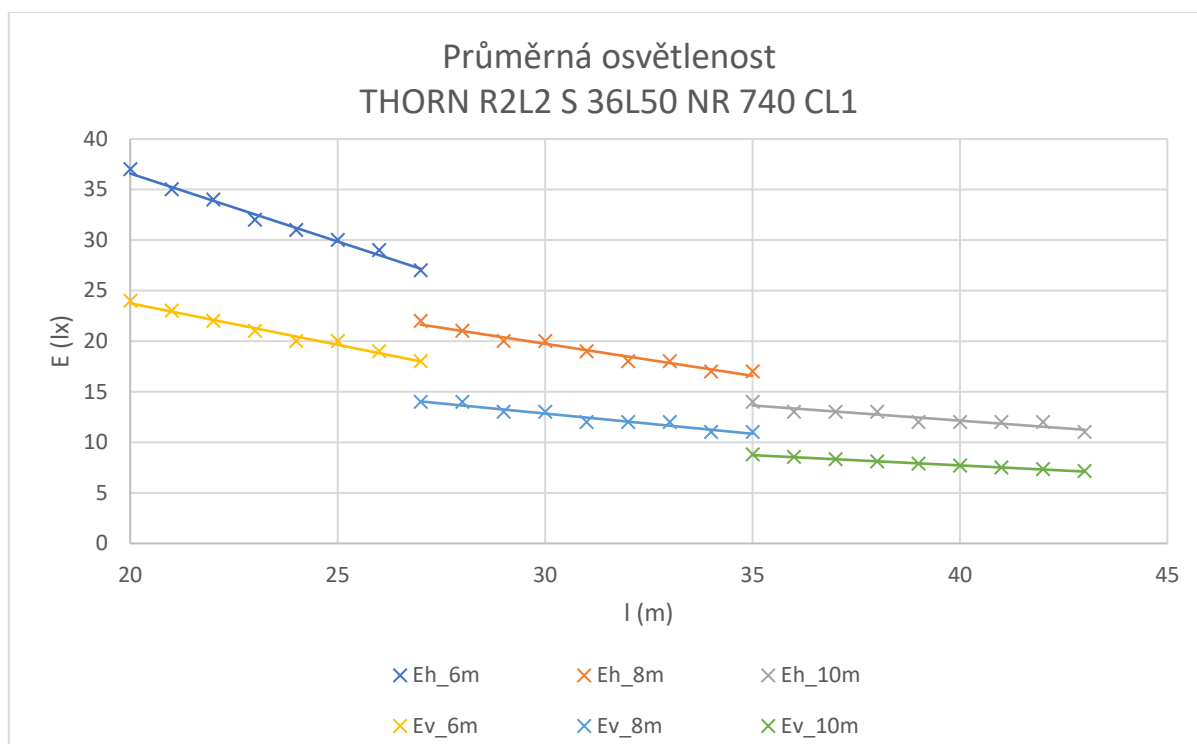
Obrázek 18- THORN R2L2 S 36L WSC 740 CL1 [9]



Obrázek 19- Hodnoty svítivosti R2L2 v polárních souřadnicích [9]

V návrhu optimální osvětlovací soustavy začínala vzdálenost svítidel také na 20 m a totožné výšce umístění svítidel 6 m. Daná výška byla použita do vzdálenosti 27 m, jelikož podélná rovnoměrnost dosáhla hraniční hodnoty 0,60. Od vzdálenosti 27 m byla výška umístění svítidel 8 m. Tuto výšku umístění svítidel bylo možno použít do vzdálenosti 35 m, protože podélná rovnoměrnost dosáhla hodnoty 0,61. Od vzdálenosti 35 m až do maximální vzdálenosti 43 m byla vždy výška umístění svítidel 10 m.

Získané hodnoty jsou graficky znázorněny v následujících grafech pro průměrnou horizontální a vertikální osvětlenost, rovnoměrnost horizontálního a vertikálního osvětlení, průměrný jas.

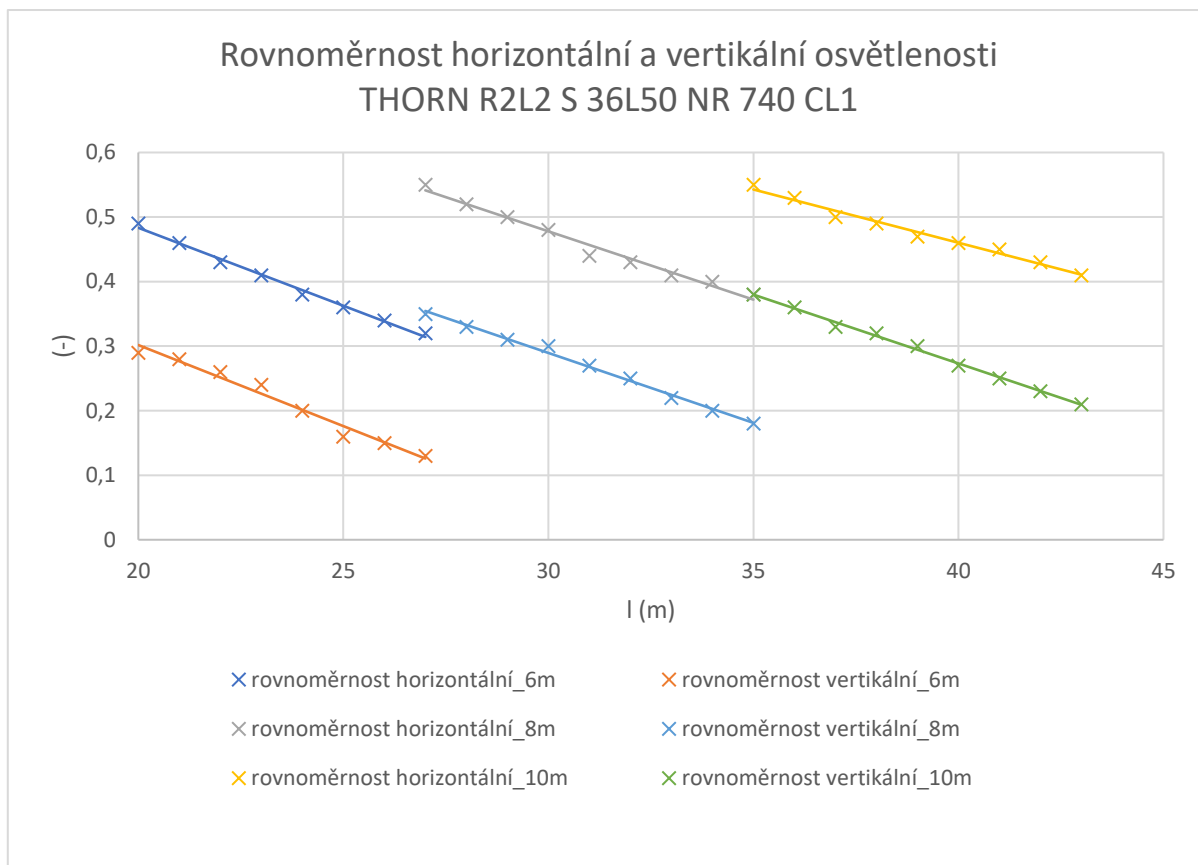


Graf 4- Průměrná osvětlenost THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1

Z tohoto grafu lze vidět, že maximální horizontální osvětlenosti je dosaženo ve 20 m a má hodnotu 37 lx. Minimální osvětlenost je při 43 m, kde dosahuje hodnoty 11 lx.

Dále z grafu vyplývá, že maximální vertikální osvětlenost je při 20 m, kde dosahuje 24 lx a minimum je při 43 m 7,15 lx.

Nerovnoměrnosti osvětlenosti v grafu na 27 m a 35 m jsou způsobeny změnou výšky umístění svítidel.

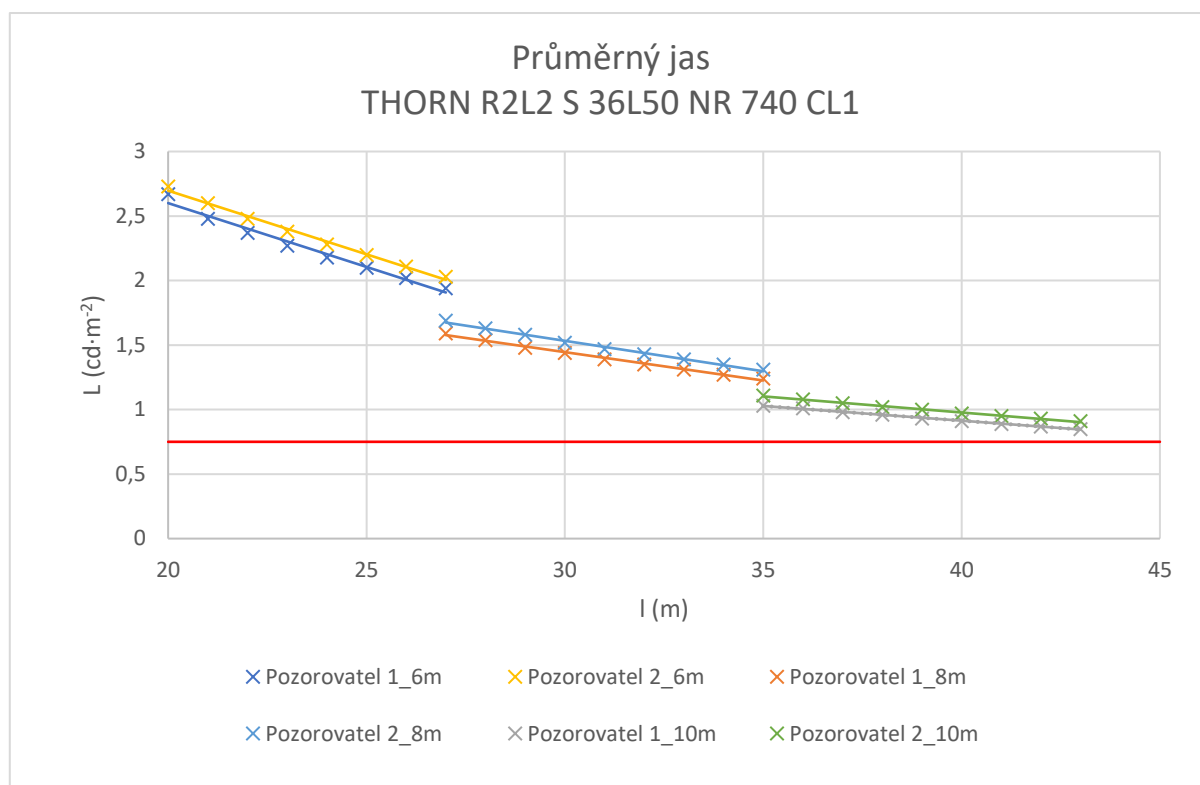


Graf 5- Rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti

Rovnoměrnost horizontální osvětlenosti je nejvyšší ve dvou situacích, kde shodně dosahuje 55 %. A to za prvé při výšce umístění svítidla 8 m a vzdálenosti svítidel mezi sebou 27 m, a za druhé při výšce umístění svítidla 10 m a vzdálenosti svítidel od sebe 35 m. Nejnížší horizontální osvětlenost 32 % je zjištěna při výšce umístění svítidla 8 m a vzdálenosti 35 m od vedlejšího světelného zdroje.

Nejvyšší rovnoměrnost vertikální osvětlenosti je 38 %, a to při výšce umístění svítidel 10 m a při vzdálenosti svítidel od sebe 35 m. Nejnížší vertikální rovnoměrnost osvětlenosti je 13 % při výšce umístění svítidla 6 m a vzdálenosti 27 m od sebe.

Skoky rovnoměrnosti v grafu na 27 m a 35 m jsou způsobeny také změnou výšky umístění svítidel.



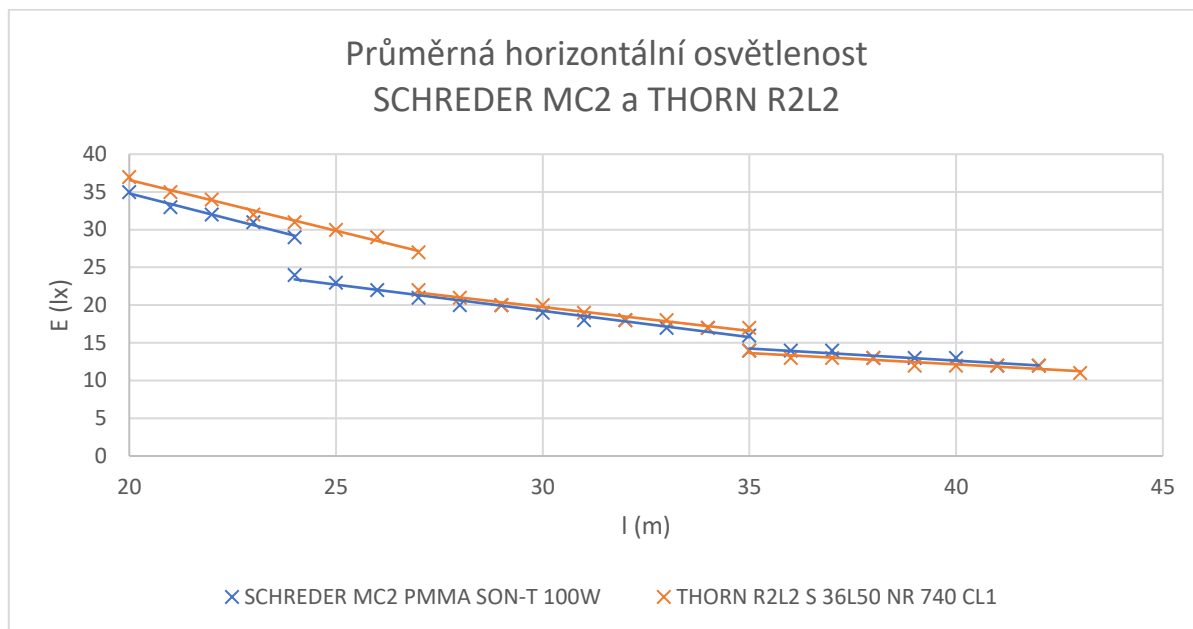
Graf 6- Průměrný jas THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1

Jas dosahuje svého maxima u pozorovatele 2, a to na 20 m a má hodnotu $2,73 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, tato hodnota je o 264 % větší než požaduje norma. Minimální jas je u pozorovatele 1 na 43 m, a to $0,85 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, a tato hodnota je větší o 13 % než je požadované minimum.

Skoky jasu v grafu na 27 m a 35 m jsou způsobeny změnou výšky umístění svítidel.

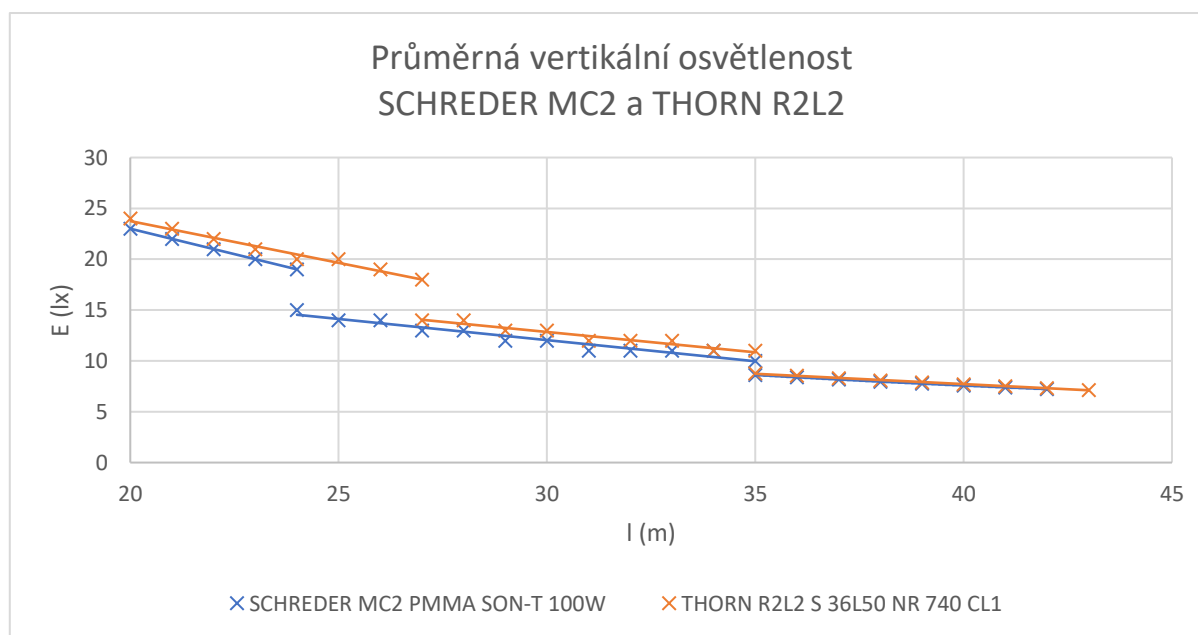
4.4 Porovnání osvětlovacích soustav

V grafu je vyobrazeno srovnání průměrné horizontální osvětlenosti světelných zdrojů SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1.



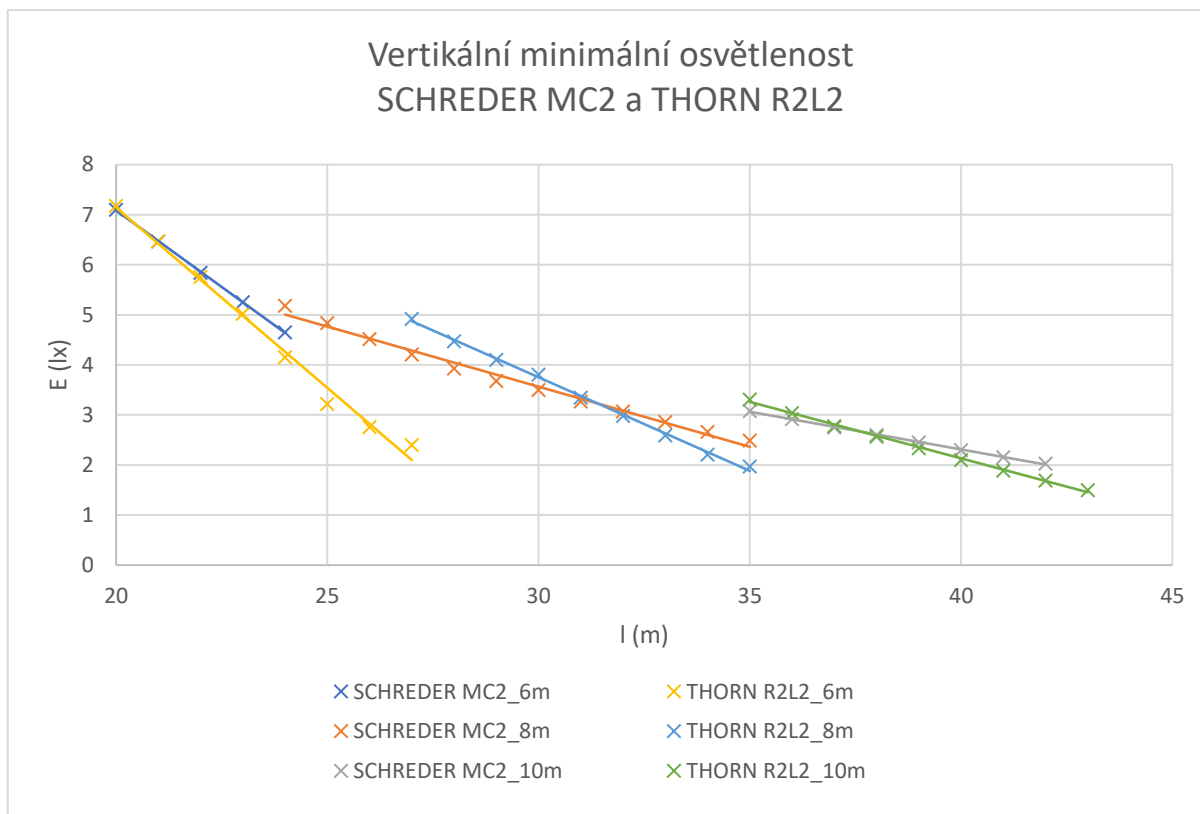
Graf 7- Průměrná horizontální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1

Z grafu lze vyčíst, že průběhy horizontální osvětlenosti jsou téměř totožné. Horizontální osvětlenost THORN R2L2 má v průměru o 4,2 % lepší horizontální osvětlenost než SCHREDER MC2.



Graf 8- Průměrná vertikální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1

Z grafu průměrné vertikální osvětlenosti je také patrný rozdíl mezi svítidly THORN R2L2 a SCHREDER MC2. THORN R2L2 má v tomto případě lepší vertikální osvětlenost v průměru o 8,2 %.



Graf 9- Vertikální minimální osvětlenost SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W a THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1

Z tohoto grafu, ve kterém je vyjádřena minimální vertikální osvětlenost je patrné, že při porovnání obou zdrojů osvětlení mezi sebou má strmější klesající tendenci minimálních hodnot osvětlení zdroj THORN R2L2.

Energetické srovnání

Světelný zdroj THORN R2L2 má nižší spotřebu elektrické energie o 45 % a osvětlovací tok nižší o 21,4 %, avšak její horizontální osvětlenost je vyšší o 4,2 % a vertikální osvětlenost vyšší o 8,2 % než je tomu u svítidla SCHREDER MC2. Tyto rozdíly jsou způsobeny použitím lepší optiky a také lepším zdrojem osvětlení u svítidla THORN R2L2.

V této práci bylo modelováno veřejné osvětlení pro komunikaci třídy M4, která má dle normativních požadavků na průměrný jas hodnotu $0,75 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Obě řešená svítidla tuto hodnotu značně překračovala. Nejvíce překračovala na vzdálenosti 20 m. A to SCHREDER MC2 o 235 % a THORN R2L2 o 264 %. Při maximálních vzdálenostech svítidel přesahovalo svítidlo SCHREDER MC2 požadovanou hodnotu o 8 % a svítidlo THORN R2L2 o 13 %. LED svítidlo THORN R2L2 má říditelný světelný výkon, na rozdíl od vysokotlaké sodíkové výbojky SCHREDER MC2, což je jeho výhodou. Tím pádem lze toto svítidlo lépe přizpůsobit komunikaci.

Závěr

Daná práce je rozdělena na 7 částí, z nichž počáteční tři se věnují teoretickým znalostem dané problematiky a následující části se soustředí na praktické řešení a obsahují modelovou situaci.

První část této práce se zabývá osvětleností a jejími typy.

V druhém oddíle jsou rozebrány normativní požadavky na osvětlování pozemních komunikací. Je zde rozebrána první norma, která obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení. Dále byl proveden rozbor požadavků pro jednotlivé třídy osvětlení, kterými se zabývá druhá norma. Ve třetí normě jsou uvedeny výpočty světelně technických parametrů a ve čtvrté normě jsou uvedeny metody měření světelných parametrů. Poslední pátá norma uvádí postup pro vyhodnocení ukazatelů energetické náročnosti.

Ve třetí kapitole jsou popsány vlastnosti materiálů jako je odraz, prostup a pohlcení. Dále je zde podrobně popsán odraz světla, který se vyskytuje na komunikacích. Jsou zde také uvedeny hodnoty odrazu pro jednotlivé materiály.

Podstatná část této práce se zabývá vlastním návrhem veřejného osvětlení v modelové situaci. Nejprve jsou uvedeny základní parametry modelu, který byl vytvořen v programu DIALux 3.14. V modelu byly použity a srovnány dva světelné zdroje, a to vysokotlaká sodíková výbojka a LED. Je zde popsáno umístění svítidel a umístění měřících rastrů. Na začátku modelování ve výpočetním programu bylo vytvořeno venkovní prostředí, které obsahovalo komunikaci pro motorová vozidla, chodníky a doprovodnou zeleň. Následně byla umístěna svítidla. V průběhu výpočtů byla postupně zvětšována vzdálenost svítidel mezi sebou a současně se zvyšovala také výška jejich umístění. Při každém výpočtu byly zaznamenány parametry osvětlenosti a jasu, které byly následně zpracovány. Součástí je také postup výpočtů.

Pro klasickou osvětlovací soustavu byla jako zdroj osvětlení vybrána vysokotlaká sodíková výbojka umístěná ve svítidle MC2 od výrobce SCHREDER. Tento zdroj osvětlení byl vložen do modelu a byla vygenerována data o jeho chování v dané situaci. Na základě získaných dat bylo provedeno vyhodnocení a jeho grafické znázornění. Kapitola obsahuje parametry svítidla, graf pro průměrnou horizontální a vertikální osvětlenost, rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti a graf, kde je vykreslen průběh jasu, jak pro pozorovatele 1, tak pro pozorovatele 2.

Pro optimální osvětlovací soustavu byla jako zdroj osvětlení zvolena LED dioda. Tento zdroj osvětlení je umístěn ve svítidle R2L2 od výrobce THORN. Stejně jako v předchozí kapitole je zrealizováno vyhodnocení parametrů.

V poslední části této práce je provedeno srovnání obou svítidel mezi sebou. Na základě získaných hodnot bylo jako svítidlo s nejlepšími parametry vyhodnoceno LED svítidlo s názvem THORN R2L2, a to jelikož má lepší optiku, vyšší světelný výkon a nižší energetickou náročnost. Jeho velkou výhodou je možnost řízení světelného toku, což je podstatné, protože jej tak lze lépe přizpůsobit komunikaci.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HABEL, J. a kolektiv: Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] ČSN CEN/TR 13201-1. Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd komunikace. 2017.
- [3] ČSN EN 13201-2. Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Požadavky. 2019.
- [4] ČSN EN 13201-3. Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Výpočet. 2016.
- [5] ČSN EN 13201-4. Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Metody měření. 2016.
- [6] ČSN EN 13201-5. Osvětlování pozemních komunikací – Část 1: Ukazatele energetické náročnosti. 2016.
- [7] SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.

Internetové zdroje

- [8] MC2 [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.artechnic-schreder.cz/produkty/mc-2#product-params>
- [9] R2L2 [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://www.thornlighting.cz/cs-cz/produkty/venkovni-osvetleni/ulicni-osvetleni/R2L2/r2l2-small-uzka-optika/96268474>
- [10] DIALux [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://dialux.en.uptodown.com/windows>

Přílohy

Příloha A	SCHREDER MC2 – Katalogový list
Příloha B	THORN R2L2 – Katalogový list
Příloha C	Souhrn vypočtených data
Příloha D	Zdrojový soubor DIALux – SCHREDER MC2 PMMA SON-T 100W
Příloha E	Zdrojový soubor DIALux – THORN R2L2 S 36L50 NR 740 CL1